

В. І. Борисенко^{1,*}, Д. В. Будик², В. В. Горанчук¹

¹ *Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, Київ, Україна*
² *ПрАТ Сєвєродонецьке НВО «ІМПУЛЬС», Сєвєродонецьк, Україна*

*Відповідальний автор: vborysenko@isnpp.kiev.ua

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ПОТУЖНОСТІ ВВЕР

У більшості алгоритмів формування сигналів керування, блокувань і захистів ВВЕР використовується значення теплової потужності реактора (ТПР). Стаття саме призначена аналізу задачі визначення ТПР ВВЕР-1000. Запропоновано способи підвищення точності визначення ТПР на основі сигналів систем контролю параметрів нейтронного потоку на ВВЕР-1000. ТПР є одними з важливих параметрів безпеки ВВЕР-1000, а також за цим параметром визначаються техніко-економічні показники енергоблока. Задача підвищення точності визначення ТПР є актуальною особливо з огляду на плани з підвищення ТПР ВВЕР-1000: на першому етапі до 101,5% номінальної, а пізніше і до 104 - 107 % номінальної, яка згідно з проектом становить 3000 МВт. Розглянуто основні фактори, що впливають на похибки визначення ТПР різними способами: за теплотехнічними параметрами 1-го та 2-го контурів і за параметрами нейтронного потоку в апаратурі контролю нейтронного потоку (АКНП) і системі внутрішньореакторного контролю. Для підвищення точності визначення ТПР в АКНП запропоновано модель врахування впливу на сигнал іонізаційної камери зміни таких параметрів: температура і концентрація борної кислоти в теплоносії, положення органів регулювання системи управління і захисту, вигорання палива тощо. Наведено результати аналізу зміни ТПР протягом паливної кампанії ВВЕР-1000, яку визначено різними способами.

Ключові слова: тепла потужність реактора, теплотехнічні параметри, параметри нейтронного потоку, модель корекції, лінійне енерговиділення, вагові коефіцієнти.

В. И. Борисенко^{1,*}, Д. В. Будик², В. В. Горанчук¹

¹ *Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Киев, Украина*
² *ЧАО Северодонецкое НПО «ИМПУЛЬС», Северодонецк, Украина*

*Ответственный автор: vborysenko@isnpp.kiev.ua

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ ВВЭР

В большинстве алгоритмов формирования сигналов управления, блокировок и защит ВВЭР используется значение тепловой мощности реактора (ТМР). В статье проведен анализ задачи определения ТМР ВВЭР-1000, предложены способы повышения точности определения ТМР на основе сигналов систем контроля параметров нейтронного потока на ВВЭР-1000. ТМР является одним из важных параметров безопасности ВВЭР-1000, а также по этому параметру определяются технико-экономические показатели энергоблока. Задача повышения точности определения ТМР актуальна, особенно учитывая планы по повышению ТМР ВВЭР-1000: на первом этапе до 101,5 % номинальной, а позже и до 104 - 107 % номинальной, которая согласно проекту составляет 3000 МВт. Рассмотрены основные факторы, влияющие на погрешности определения ТМР различными способами: по теплотехническим параметрам 1-го и 2-го контуров, по параметрам нейтронного потока в аппаратуре контроля нейтронного потока (АКНП) и в системе внутрореакторного контроля. Для повышения точности определения ТМР в АКНП предложена модель учета влияния на сигнал ионизационной камеры изменения таких параметров: температура и концентрация борной кислоты в теплоносителе, положения органов регулирования системы управления и защиты, выгорания топлива и др. Приведены результаты анализа изменения ТМР, определенной различными способами, в течение топливной кампании ВВЭР-1000.

Ключевые слова: тепловая мощность реактора, теплотехнические параметры, параметры нейтронного потока, модель коррекции, линейное энерговыделение, весовые коэффициенты.

V. I. Borysenko^{1,*}, D. V. Budyk², V. V. Goranchuk¹

¹ *Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*
² *Private Joint-Stock Company "Severodonetsk Research and Production Association "Impulse",
Severodonetsk, Ukraine*

*Corresponding author: vborysenko@isnpp.kiev.ua

IMPROVING THE ACCURACY OF THERMAL POWER DETERMINATION OF VVER

In most algorithms for forming control signals, locks and protection of VVER, the value of the reactor's thermal

power (RTP) is used. This article is dedicated to the analysis of the problem of determining the RTP of VVER-1000. The article suggests ways to improve the accuracy of the determination of RTP based on the signals of the neutron flux parameters control system at VVER-1000. The thermal power of the reactor is one of the important safety parameters of VVER-1000, and also this parameter determines the technical and economic parameters of the power unit. The task of increasing the accuracy of RTP determination is especially relevant considering plans to increase RTP of VVER-1000: in the first stage to 101.5 % of the nominal value, and later to 104 - 107 % of the nominal value, which equals to 3000 MW according to the project. In the article, the main factors influencing the errors of determination of RTP in different ways are considered: according to the thermal parameters of the 1st and 2nd contours and the parameters of the neutron flux in the Neutron Flux Monitoring System (NFMS) and In-core Monitoring System (ICMS). In order to improve the accuracy of determination of RTP in the NFMS, we propose a model that considers the influence on the signal of the ionization chamber of the following parameters: temperature and concentration of boric acid in the coolant, the position of the control rods, burning of fuel, etc. The results of the analysis of the change in RTP during the fuel campaign of VVER-1000 are given, which is determined in different ways.

Keywords: reactor thermal power, thermal engineering parameters, neutron flux parameters, correction model, linear heat generation rate, weight coefficients.

REFERENCES

1. Neutron Flux Control Equipment. Specifications. TU U 30.0-31393258-010-2003 A. (Rus)
2. V.A. Bragin et al. *In-core Monitoring Systems of NPP with VVER* (Moskva: Energoatomizdat, 1987) 128 p. (Rus)
3. A.N. Dobrotvorskii. Development and substantiation of methods of determination of weighted mean power of NPP units with VVER-1000. The thesis of the Candidate of Technical Sciences. (Novovoronezh, 2017) 191 p. (Rus)
4. Yu.V. Saunin, A.N. Dobrotvorskii, A.V. Semenikhin. *Methods of Estimation of Weight Coefficient when Determining Weighted Mean Thermal Power of VVER Reactors*. Tyazheloe Mashinostroenie (August 2008). (Rus)
5. J. Taylor. *An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements*. 2nd edition (United States, Sausalito: University Science Books, 1997) 327 p.
6. V.F. Bai et al. State of in-core thermal control and analysis of the main thermal and physical characteristics of RP of Kalinin NP. In: Book of Abstracts of the 7th Intern. Sci. and Technical Conf. "Safety, Effectiveness, and Economics of Nuclear Power Engineering", Moskva, Russia, 2020, p. 228. (Rus)
7. M.P. Vukalovich. *Thermophysical Properties of Water and Steam* (Moskva: Mashinostroenie, 1967) 160 p. (Rus)
8. A.A. Aleksandrov, B.A. Grigor'ev. *Tables of Thermophysical Properties of Water and Steam* (Moskva: Publishing house of MEI, 1999) 168 p. (Rus)
9. Yu.V. Saunin et al. Possibilities of operative evaluations of weight coefficients of weighted mean thermal power of VVER reactors. In: Proc. of the Conf. "Safety Assurance at NPP with VVER", OKB "Gidropress", May 26 - 29, 2009. (Rus)
10. V.I. Borysenko. Enhancement of methods and means for operational control and diagnostics of neutronic parameters of nuclear installations. The thesis of Doctor of Technical Sciences (Kyiv, 2018) 400 p. (Ukr)
11. Standard operating procedure of Rivne NPP 4th unit safe operation. 4-RNPP. (Rus)
12. V.I. Borysenko, Yu. F. Piontkovskiyi, V.V. Goranchuk. An investigation of models of rhodium emitter used in a self-powered neutron detector. *Problemy Bezpeky Atomnykh Elektrostansiy i Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyl)* 28 (2017) 16. (Rus)
13. D.V. Vorob'eva et al. Calculation of RP capacity on parameters of in-core detectors. Analysis of operation experience. In: Book of Abstracts. 10th Intern. Sci. and Technical Conf. "Safety Assurance at NPP with VVER", Podolsk, 2017. (Rus)

Надійшла 29.07.2019

Received 29.07.2019